

**ACTIVE PHASED ARRAY ANTENNA**

**Publication number:** JP9214238

**Publication date:** 1997-08-15

**Inventor:** KUWABARA YOSHIHIKO; ARAKI KAN; JINRIKI  
MASANORI

**Applicant:** NIPPON ELECTRIC CO; JAPAN TECH RES & DEV  
INST

**Classification:**

- international: **H01Q3/26; G01S7/02; G01S7/28; H01Q3/38;  
H01Q21/22; H01Q3/26; G01S7/02; G01S7/28;  
H01Q3/30; H01Q21/22; (IPC1-7): H01Q3/26; G01S7/02;  
G01S7/28; H01Q3/38**

- european:

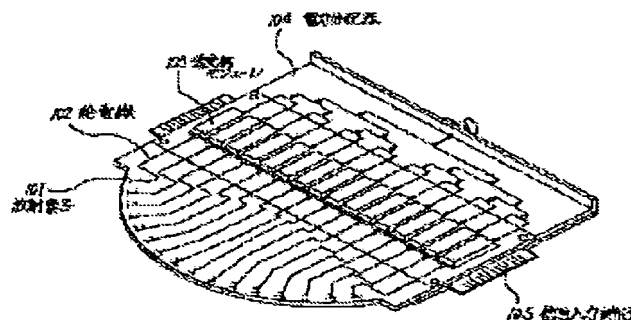
**Application number:** JP19960019888 19960206

**Priority number(s):** JP19960019888 19960206

Report a data error here

**Abstract of JP9214238**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an active phased array antenna suitable for the use of a radio wave for a millimeter wave band. **SOLUTION:** The active phases array antenna is provided with plural radiation elements 101 plural transmission reception modules connected to the radiation elements 101 and the whose number is equal to the number of the radiation elements 101, a power distributor 104 distributing a signal to transmission reception modules 103 and combining the signals from the transmission reception modules 103, and a beam scanning controller providing a control signal to the transmission reception modules 103 and the plural radiation elements 101 are arranged on a same plane as the transmission reception modules 103 so as to allow ends of the radiation elements 101 to draw a circumference.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-214238

(43) 公開日 平成9年(1997)8月15日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 Q	3/26		H 0 1 Q 3/26	Z
G 0 1 S	7/02		G 0 1 S 7/02	F
	7/28		7/28	Z
H 0 1 Q	3/38		H 0 1 Q 3/38	

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-19888

(22) 出願日 平成8年(1996)2月6日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社  
東京都港区芝五丁目7番1号

(71) 出願人 390014306

防衛庁技術研究本部長  
東京都世田谷区池尻1丁目2番24号

(72) 発明者 桑原 義彦

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株  
式会社内

(72) 発明者 荒木 完

千葉県船橋市薬円台1-30-1

(72) 発明者 神力 正宣

千葉県船橋市田喜野井4-29 4-27

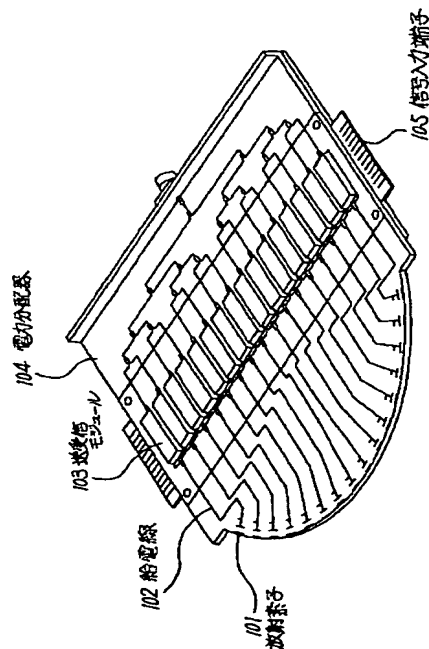
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 アクティブフェーズドアレイ空中線

(57) 【要約】

【目的】 ミリ波帯の使用に好適なアクティブフェーズドアレイ空中線を提供する。

【構成】 複数の放射素子101と、各放射素子101にそれぞれ接続された複数の放射素子101と同数の送受信モジュール103と、送受信モジュール103に信号を分配するとともに、その送受信モジュール103からの信号を合成する電力分配器104と、送受信モジュール103に制御信号を与えるビーム走査制御器とを備え、複数の放射素子101を、送受信モジュール103と同一平面上で円周を描くように配列実装する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の放射素子とその各放射素子に対応して設けられる複数の送受信モジュールとを同一平面上に実装するとともに、

前記複数の放射素子を前記平面内で円周上に配列することを特徴とするアクティブフェーズドアレイ空中線。

【請求項2】 複数の放射素子と、

各放射素子にそれぞれ接続された、前記複数の放射素子と同数の送受信モジュールと、

前記送受信モジュールに信号を分配するとともに、その送受信モジュールからの信号を合成する電力分配器と、前記送受信モジュールに制御信号を与えるビーム走査制御器とを備えるアクティブフェーズドアレイ空中線において、

前記放射素子を、前記送受信モジュールと同一平面上で円周を描くように配列実装することを特徴とするアクティブフェーズドアレイ空中線。

【請求項3】 前記ビーム走査制御器は、最大S/N法によって得られる位相ウェイトおよび振幅ウェイトを前記制御信号として出力し、

前記送受信モジュールは、接続される前記放射素子からの受信信号および前記電力分配器からのレーダ信号に対して、前記ビーム走査制御器から得られる前記位相ウェイトおよび振幅ウェイトを与えることを特徴とする前記請求項2に記載のアクティブフェーズドアレイ空中線。

【請求項4】 前記最大S/N法を実行する前記ビーム走査制御器は、

アンテナの形状および放射素子の配列を定める手段と、ビーム搜索方向でのメインビームの照射方向を定める手段と、

定められた前記メインビームの照射方向において、指向性利得を最大とする基準ウェイトを算定する手段と、算定された前記基準ウェイトによって形成されるサイドローブ特性に対し、さらに低いサイドローブ化を図りたい方向に不要信号を想定し、電力分布を設定する手段と、

想定した前記不要信号に対する各放射素子相互間での自己相関値及び相互相関値を算定する手段と、

算定された前記自己相関値および相互相関値を要素とする共分散マトリクスを算定する手段と、

算定された前記共分散マトリクスの逆マトリクスを算定し、算定された逆マトリクスを用いて、前記基準ウェイトに対し補正を行い、前記位相ウェイトおよび振幅ウェイトを算定する手段とを備えることを特徴とする前記請求項3に記載のアクティブフェーズドアレイ空中線。

【請求項5】 複数の放射素子とその各放射素子に対応して設けられる複数の送受信モジュールとが同一平面上に実装されるとともに、前記複数の放射素子が前記平面内で円周上に配列される一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線を複数備えるアクティブフェーズ

ドアレイ空中線であって、

前記一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線を等間隔に並列に配置するとともに、前記各一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線の開口中心を、その一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線の各放射素子の実装面に対して垂直な平面内で円周上に配列することを特徴とするアクティブフェーズドアレイ空中線。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、アクティブフェーズドアレイ空中線に関し、特に、ミリ波帯で適用すると好適なアクティブフェーズドアレイ空中線に関する。

【0002】

【従来の技術】複数の放射素子が直線または平面配列されるアクティブフェーズドアレイ空中線では、ビーム走査範囲を広くするために、可視領域にグレーティングローブが出現しないように、放射素子の設置間隔を狭くする必要がある。すなわち、ビーム走査範囲を $\pm\theta^\circ$ 、使用周波数の波長を $\lambda$ とすれば、所要の素子間隔 $d$ は、次式で表される。

【0003】

$$d = \frac{k}{1 + \sin \theta} \lambda$$

【0004】ここで、 $k$ は、フェーズドアレイ規模によって定まる定数である。

【0005】従来、広いビーム走査範囲を有するアクティブフェーズドアレイ空中線の放射素子として、「Phased Array Antenna with a Multi Layer Substrate」(IEEE, Proc. H, Vol. 141, No. 4, Aug. 1994)に開示されているように、素子間の相互結合が小さく、かつビーム走査時の利得低下の小さいMicrostrip Patch Antenna(以下、MSPAとする)が広く用いられていた。MSPAを放射素子として用いたとき、アクティブフェーズドアレイ空中線の構造として、図8に示すように、MSPA 201アレイと送受信モジュール202を分離して構成する方法や、MSPAの裏面に移相器、増幅器等のマルチチップモジュールIC(MMIC)を実装する方法が考えられていた。

【0006】上記方法は、マイクロ波帯で使用されるアクティブフェーズドアレイ空中線では実用化されているものの、図8に示すMSPA 201と送受信モジュール202を分離した構成をミリ波帯等の高い周波数帯で使用されるアクティブフェーズドアレイ空中線に適用することは、機械加工精度の限界、保守整備性を考慮すると実現が非常に困難である。

【0007】すなわち、送受信モジュール202は、そ

れが故障した場合に交換・修理するために、MSPA 201アレイから取り外す必要がある。ここで、送受信モジュール202とMSPA 201アレイとを接続するための同軸コネクタ203のコネクタ間隔は、 $\pm 45^\circ \sim \pm 60^\circ$  のビーム走査範囲のアクティブフェーズドアレイ空中線の場合、 $\lambda/2$  ( $\lambda$ : 波長) となる。例えば、そのコネクタ間隔は、35GHzのミリ波帯のアクティブフェーズドアレイ空中線の場合では、約4.3mm、9GHzのマイクロ波帯では、16mmとなる。したがって、ミリ波帯のアクティブフェーズドアレイ空中線では、超小型の同軸コネクタ203を用いる必要がある。しかしながら、この超小型同軸コネクタ203は、中心導体が非常に細く、人手で勘合させることは非常に困難である。

【0008】また、MSPAの裏面にMMICを実装する構造について、例えば、35GHz帯で使用可能なアクティブフェーズドアレイ空中線を考えると、図9

(a) に示すように、MMICの実装可能な領域204の面積は約20mm<sup>2</sup>で、MMICの実装面積が4~8mm<sup>2</sup>/chip必要であることから、実装個数に限界がある。しかしながら、送受信モジュールで使用されるチップは、一般的に、図9(b) に示すように、アンプ6台、スイッチ3台、移相器および減衰器各1台を必要とし、アンプおよびスイッチの実装面積は4mm<sup>2</sup>程度であり、移相器および減衰器の実装面積は6mm<sup>2</sup>程度であることから、MMICの占有面積は、48mm<sup>2</sup>となる。さらに、MMIC間の接続、外部リードとの接続を考えると、実際の面積はそれ以上となってしまう、結果として、MSPAの裏面にMMICを実装することは、極めて実現困難であった。さらに、このMSPAの裏面にMMICを実装する構造では、放熱の問題も解決する必要がある。このように、上記構造の、ミリ波帯のアクティブフェーズドアレイ空中線への適用は極めて困難であった。

【0009】したがって、ミリ波帯のアクティブフェーズドアレイ空中線では、図10に示すように、放射素子205として、スロットラインアンテナやダイポールアンテナを選定し、これらの放射素子205の給電線207の延長上に送受信モジュール206を実装する構成が適用されていた。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、アクティブフェーズドアレイ空中線の放射素子としてスロットラインアンテナを用い、図10に示すような構成を採用した場合、ビーム幅を広くすると、アレイエレメントパターン(放射素子をアレイ配列とした時の素子単体パターン)のリップルや歪みが増大することになる。したがって、スロットラインアンテナは、広角走査アクティブフェーズドアレイ空中線の放射素子として適当ではなかった。

【0011】また、アクティブフェーズドアレイ空中線の放射素子としてダイポールアンテナを用い、図10に示すような構成を採用した場合、素子間の相互結合が大きくなる。さらに、素子間隔を密に配列した場合、アレイエレメントパターンの歪みが大きく、ビーム走査時の利得変化が大きくなってしまっていた。図11は、ビーム走査範囲 $\pm 45^\circ$  および $\pm 60^\circ$  を達成するために必要な素子間隔でダイポールアンテナを配列したときのアレイエレメントパターンを示す図であり、実線は、 $\pm 45^\circ$ 、点線は、 $\pm 60^\circ$  のビーム走査範囲に対応している。図11を参照すると、ビームを $\pm 60^\circ$  に走査した場合、垂直面( $-60^\circ$ )で4.6dB、水平面( $+60^\circ$ )で11.7dBの利得低下が生じている。このようなアクティブフェーズドアレイ空中線をレーダ装置に適用した場合、システム利得の変化で、各々の利得低下は、9.2dBおよび23.4dBとなり、システム設計に重大な悪影響を与えていた。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために、本発明のアクティブフェーズドアレイ空中線は、複数の放射素子とその各放射素子に対応して設けられる複数の送受信モジュールとを同一平面上に実装するとともに、その複数の放射素子を実装平面内で円周上に配列するものである。

【0013】特に、サイドローブを抑圧するためには、最大S/N法によって得られる位相ウエイトおよび振幅ウエイトにより送受信モジュールを動作させるものである。

【0014】また、二次元ビーム走査を行うために、本発明のアクティブフェーズドアレイ空中線は、複数の放射素子とその各放射素子に対応して設けられる複数の送受信モジュールとが同一平面上に実装されるとともに、前記複数の放射素子が前記平面内で円周上に配列される一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線を複数備えるアクティブフェーズドアレイ空中線であって、前記一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線を等間隔に並列に配置するとともに、前記各一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線の開口中心を、その一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線の各放射素子の実装面に対して垂直な平面内で円周上に配列するものである。

【0015】

【実施例】次に、本発明のアクティブフェーズドアレイ空中線の一実施例について図面を参照して詳細に説明する。

【0016】本発明の第1の実施例は、送受信モジュールと放射素子を同一平面上に実装し、かつ放射素子群をその実装平面内で円周上に配列するように配置するものである。このように構成することにより、放射素子の結合度が小さくなり、結果として、ビーム走査時の利得低

下を抑えることができる。

【0017】図1は、本実施例の構成を示す斜視図であり、円周上に配列した複数の放射素子101と、各放射素子101のそれぞれと給電線102を介して接続される送受信モジュール103とが同一平面上に実装されている。また、電力分配器104は、各送受信モジュール103に高周波電力を分配・供給するものである。なお、各送受信モジュール103を制御するための制御信号は信号入力端子105から入力される。

【0018】図2は、本実施例の構成を示すブロック図であり、この図2を参照して、本実施例の動作を説明する。

【0019】まず、レーダ信号の送信時について説明すると、励振器106によって発生するレーダ信号は、電力分配器104によって、一様に分配される。分配されたレーダ信号は、各送受信モジュール103に入力され、所定の振幅・位相ウェイトが与えられる。各送受信モジュール103で、レーダ信号に与えられる振幅・位相ウェイトは、ビーム指向方向ごとに予めビーム走査制御器107に格納されている。そして、ビーム走査制御器107からのビーム走査制御信号に基づいて、各送受信モジュール103は、レーダ信号に所望の振幅・位相ウェイトを与える。所定の振幅・位相ウェイトが与えられたレーダ信号は、増幅された後、円周上に配された放射素子101から空間に放射される。

【0020】次に、受信時について説明すると、各放射素子101で受信された信号は、対応する送受信モジュール103に導かれ、増幅された後、ビーム形成のため、所定の位相・振幅ウェイトが与えられる。この受信信号に与えられる位相・振幅ウェイトも、送信時と同様にビーム走査制御器107からのビーム走査制御信号に基づくものである。各送受信モジュール103の出力信号は、送信用の電力分配器とは別に用意された電力分配器104Bによって合成され、受信機109に送出される。

【0021】次に、本実施例における送受信モジュールについて図2および図3を参照して説明する。

【0022】図3は、送受信モジュール103の構成を示すブロック図であり、図中、スイッチの位置は、送信時の状態を示す。電力分配器104Aからのレーダ信号は、入力端子115から入力され、移相器110によって位相ウェイトが与えられる。位相ウェイトが与えられたレーダ信号は、電力増幅器111によって増幅された後、可変減衰器112に供給され、振幅ウェイトが与えられる。振幅・位相ウェイトが与えられたレーダ信号は、入出力端子113を介して放射素子101に送出される。

【0023】一方、受信時には、図中の各スイッチが反対側に接触することになり、放射素子101からの受信信号は、入出力端子113に与えられる。受信信号は、

低雑音増幅器114によって増幅され、可変減衰器115によって、振幅ウェイトが与えられる。受信信号は、さらに、移相器110によって、位相ウェイトが与えられる。振幅・位相ウェイトが与えられた受信信号は、出力端子116から電力分配器104Bに送出される。

【0024】ここで、制御回路117は、ビーム走査制御器107からのビーム走査制御信号を、可変減衰器112および115、移相器110のインタフェースに合わせてデコードし、その制御信号に基づいて、その可変減衰器112および115、移相器110を駆動制御するものである。

【0025】本実施例のごとく、複数の放射素子を円周配列で等間隔に配置した場合のアレイエレメントパターンは、実験によれば、 $\cos \theta$ で近似することができ、そのビーム走査時における利得低下を抑えることができる。これは、素子単体の放射パターンを $\cos \theta$ で近似することができるために、複数の放射素子を円周配列した時には、素子間の相互結合が小さくなっているためである。

【0026】ここで、図4は、本実施例のアクティブフェーズドアレイ空中線の放射パターンを以下の条件のもとで計算した結果である。

【0027】

素子数	: 16
素子間隔	: $0.5\lambda$
周波数	: 35GHz (ミリ波帯)
配列円周半径	: 50mm
ビーム走査方向	: $60^\circ$
設定ウェイト	: テーラ分布 (サイドローブレベル $-30\text{dB}$ , $n=4$ )
素子パターン	: $\cos \theta$

次に、本発明の第2の実施例のアクティブフェーズドアレイ空中線について図2、図4および図5を参照して説明する。

【0028】図4を参照すると、本発明の第1の実施例では、放射素子を円周上に配列したコンフォーマルアレイであるため、サイドローブレベル $-30\text{dB}$ のテーラウェイトをかけているにもかかわらず、 $-18\text{dB}$ のサイドローブが発生している。そこで、本発明の第2の実施例では、円周配列アレイで発生する不要ローブ(図4における $70^\circ \sim 80^\circ$ に発生している比較的レベルの大きいサイドローブ)を抑圧するために、前述の第1の実施例に最大S/N法を適用するものである。

【0029】最大S/N法は、「曲線アレイにおけるアダプティブナル形成」(1994年電子情報通信学会春季大会 pp2~157)に示されているが、その具体的な手法について図5に示すフローチャートを参照して説明する。

【0030】まず、アンテナの形状および放射素子の配列を定める(S101)。さらに、ビーム搜索方向での

メインビームの照射方向を定める (S102)。定められたメインビームの照射方向において、指向性利得を最大とする基準ウェイトを算定する (S103)。算定された基準ウェイトによって形成されるサイドローブ特性に対し、さらに低いサイドローブ化を図りたい方向に不要信号を想定し、電力分布を設定する (S104)。想定した不要信号に対する各放射素子相互間での自己相関値及び相互相関値を算定する (S105)。算定された各相関値を要素とする共分散マトリクスを算定する (S106)。算定された共分散マトリクスの逆マトリクスを算定し、算定された逆マトリクスを用いて前述の S103 で算定された基準ウェイトに対し補正を行い、アダプティブウェイトを算定する (S107)。ここで、S106 で算定された共分散マトリクスは、各放射素子で受信した不要信号の搜索空間における電力分布を表すものであり、したがって、S107 で、その共分散マトリクスの逆マトリクスを算定し、基準ウェイトに乗算してこれを補正することは、この不要信号を打ち消すように基準ウェイトで定めたビーム指向性を適合させることを意味する。

【0031】図 2 に示すビーム走査制御装置 107 において、この最大 S/N 法を適用して得られる位相・振幅ウェイトを、各送信モジュール 103 に入力されるレーダ信号に与えることにより、ビーム指向性利得を最大にしつつ、サイドローブレベルを抑圧することができる。ここで、図 6 は、図 4 に示すような放射パターンを示す前述の第 1 の実施例に対して最大 S/N 法を適用した本実施例において、前述と同様の条件のもとに計算された放射パターンを示すものである。図 6 を参照すれば、図 4 に示す放射パターンと比べて、サイドローブレベルは 7 dB 改善され、-23 dB となっていることがわかる。また、本実施例では、ビーム走査時の利得変動は、2.6 dB であり、照射素子を直線配列した場合と比べて、1.7 dB 改善されている。

【0032】次に、本発明の第 3 の実施例について図 7 を参照して説明する。

【0033】本発明の第 3 の実施例は、前述の第 1 の実施例のアクティブフェーズドアレイ空中線が一次元ビーム走査を行うものであるのに対して、二次元ビーム走査を行うものである。

【0034】図 7 は、本実施例の構成を示す斜視図であり、本実施例の二次元アクティブフェーズドアレイ空中線は、二次元ビーム走査を行うために、図 1 に示す一次元ビーム走査アクティブフェーズドアレイ空中線 118 を複数用意し、それらを平行かつ等間隔に配列している。ここで、図 7 における XY 平面内においても放射素子 101 の配列をコンフォーマルアレイとするために、一次元アクティブフェーズドアレイ空中線 118 の開口中心 120 が、その一次元アクティブフェーズドアレイ空中線 118 の各放射素子 101 の実装面 (図 7 にお

る XZ 平面) に対して垂直な平面 (XY 平面) 内に描かれる円周 119 上に配置されるように、その一次元アクティブフェーズドアレイ空中線を前後にずらして配列する。ここで、円周 119 を含む平面内の放射パターンも、前述の図 4 に示す特性と同様のものとなる。なお、本実施例においても、前述の最大 S/N 法を適用してサイドローブを抑圧することができる。

#### 【0035】

【発明の効果】以上説明したとおり、本発明のアクティブフェーズドアレイ空中線は、放射素子群とそれに対応して設けられる送受信モジュールとを同一平面上に実装するとともに、各放射素子を円周上に配列しているために、ビーム走査時の利得変動を抑えることができ、広いビーム走査範囲を実現することができる。

【0036】さらに、精密な接続構造を必要としないため、ミリ波帯に適用した場合に、保守整備等を容易に行うことができる。

【0037】さらに、最大 S/N 法を適用することにより、放射素子を円周配列した場合に発生する不要ローブ (比較的レベルの大きいサイドローブ) を抑圧することができる。

【0038】さらに、本発明では、一次元アクティブフェーズドアレイ空中線を複数並行に配置し、各一次元アクティブフェーズドアレイ空中線の開口中心が、その一次元アクティブフェーズドアレイ空中線の各放射素子の実装面に対して垂直な平面内に描かれる円周上に配置されるように、その一次元アクティブフェーズドアレイ空中線を前後にずらして配列することにより、二次元ビーム走査への拡張を容易に実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施例の構成を示す斜視図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施例の構成を示すブロック図である。

【図 3】図 2 における送受信モジュールの構成を示すブロック図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施例に対して所定の条件で計算された放射パターンの一例を示す図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施例に適用される最大 S/N 法の処理手順を示すフローチャートである。

【図 6】本発明の第 2 の実施例に対して所定の条件で計算された放射パターンの一例を示す図である。

【図 7】本発明の第 3 の実施例の構成を示す斜視図である。

【図 8】従来のアクティブフェーズドアレイ空中線の主要部の構成を示す斜視図である。

【図 9】従来のアクティブフェーズドアレイ空中線の構成を説明する図であり、(a) は、MMIC を実装可能な MSPA の裏面の面積を示す図であり、(b) は、一般的な MMIC の構成を示す図である。

【図 10】従来のミリ波帯のアクティブフェーズドアレイ空中線の主要部の構成を示す斜視図である。

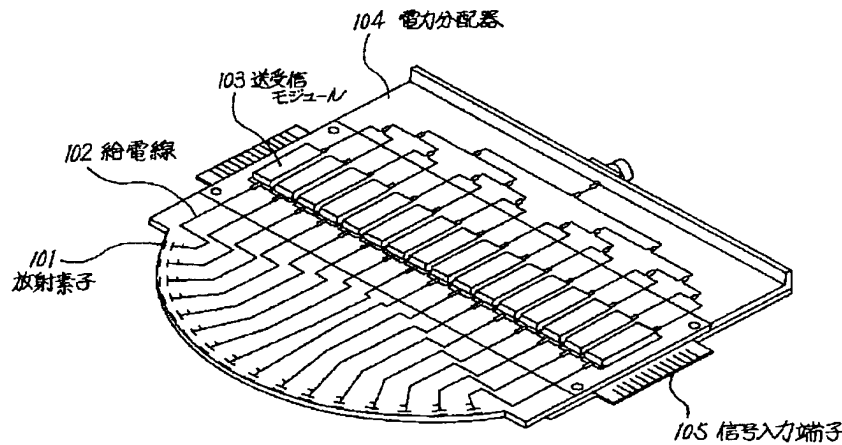
【図 11】図 10 に示す従来のアクティブフェーズドアレイ空中線におけるアレイエレメントパターンの一例を示す図である。

【符号の説明】

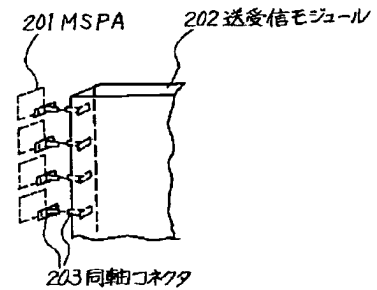
- 101 放射素子
- 102 給電線
- 103 送受信モジュール
- 104 電力分配器
- 105 信号入力端子
- 106 励振器
- 107 ビーム走査制御器

- 108 受信機
- 109 入力端子
- 110 移相器
- 111 電力増幅器
- 112、115 可変減衰器
- 113 入出力端子
- 114 低雑音増幅器
- 116 出力端子
- 117 制御回路
- 10 118 一次元アクティブフェーズドアレイ空中線
- 119 円周
- 120 開口中心

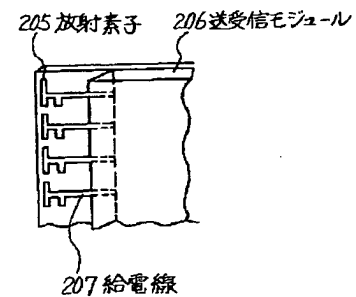
【図 1】



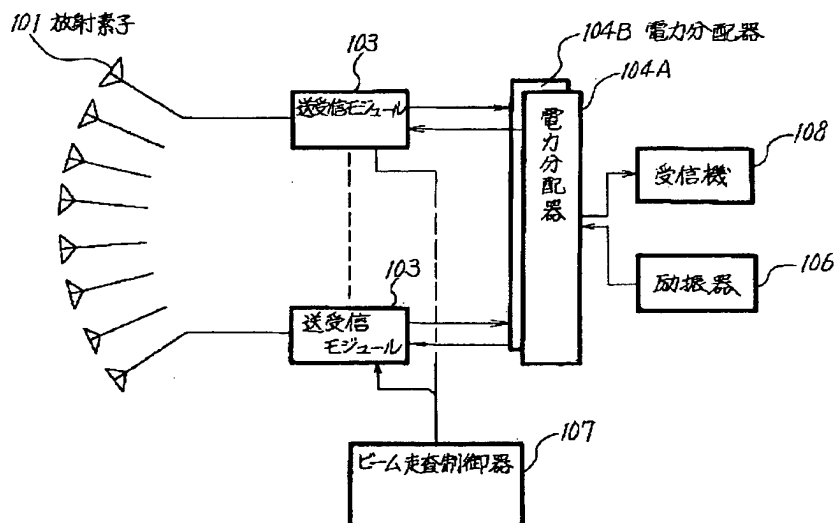
【図 8】



【図 10】

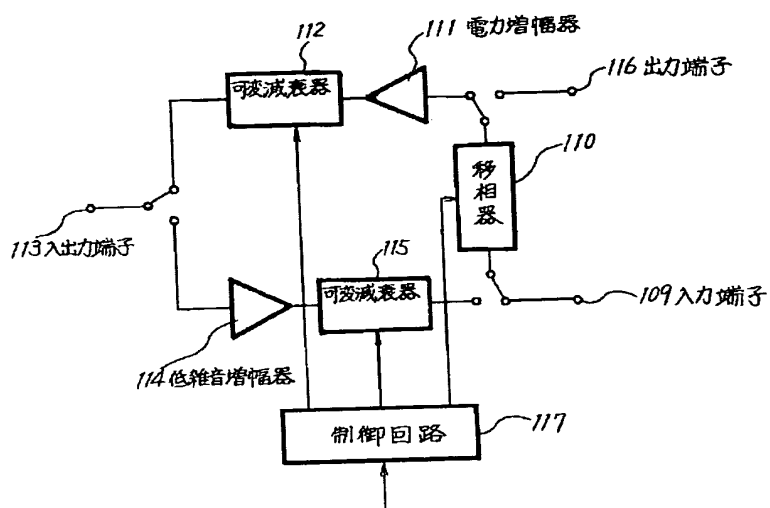


【図 2】

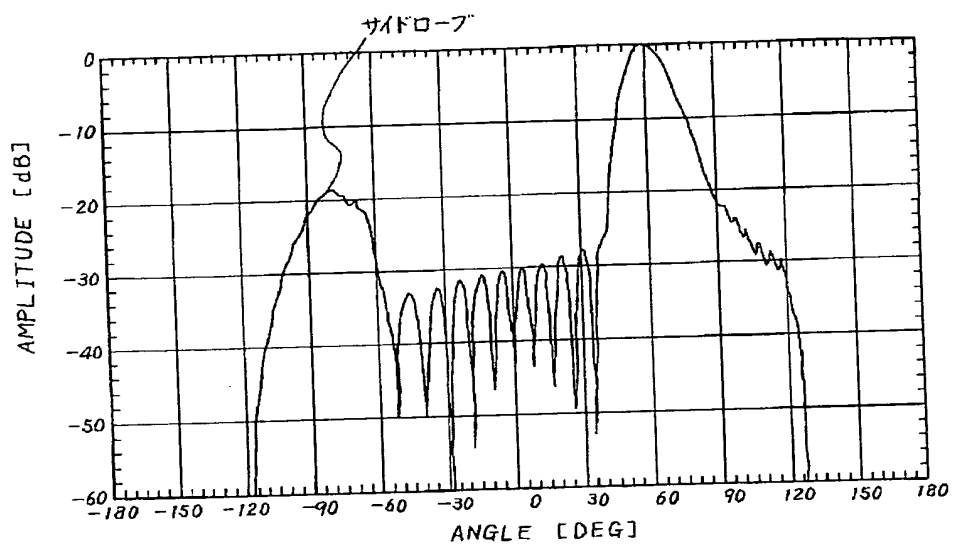




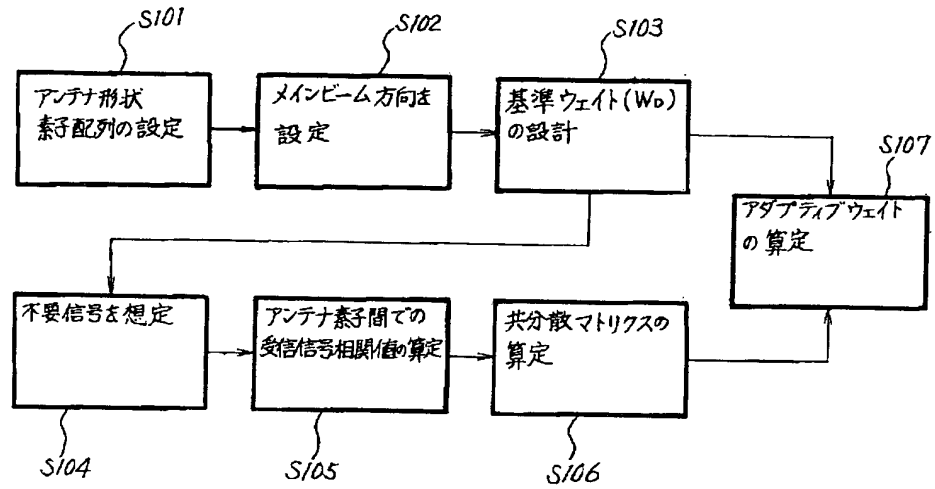
【図 3】



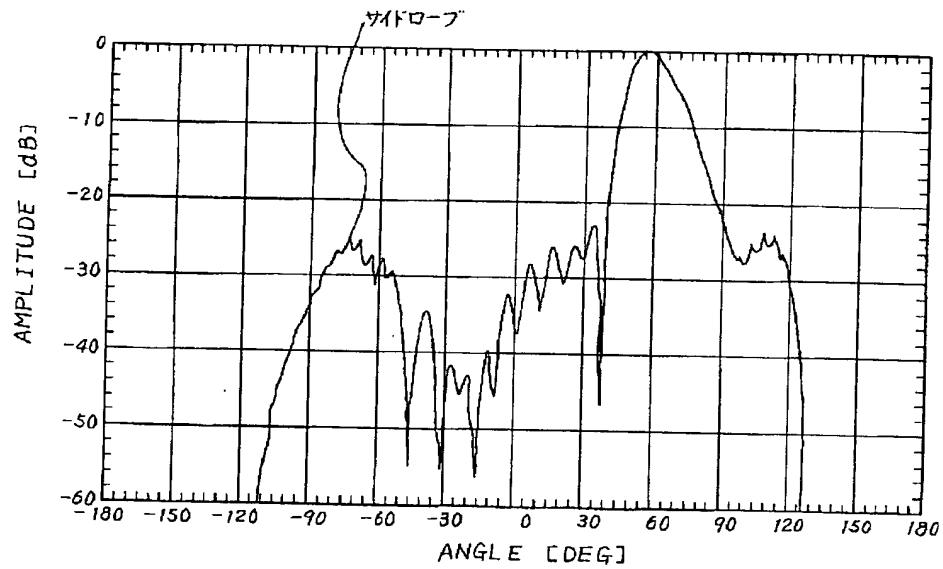
【図 4】



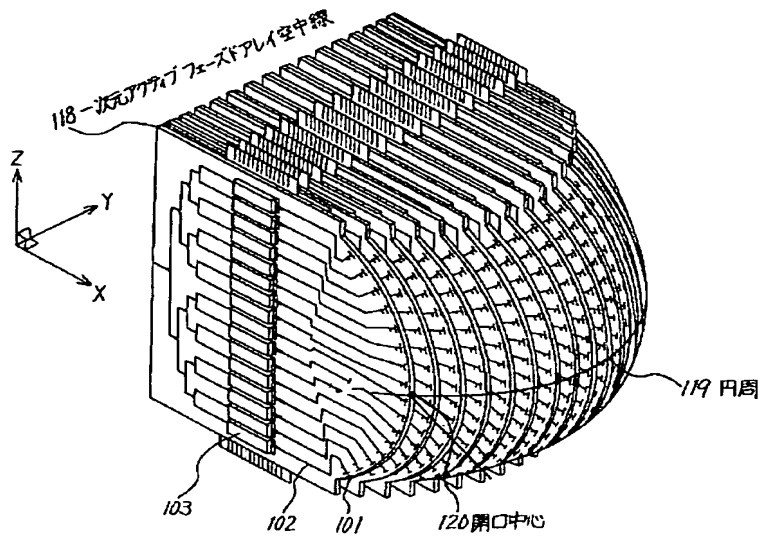
【図 5】



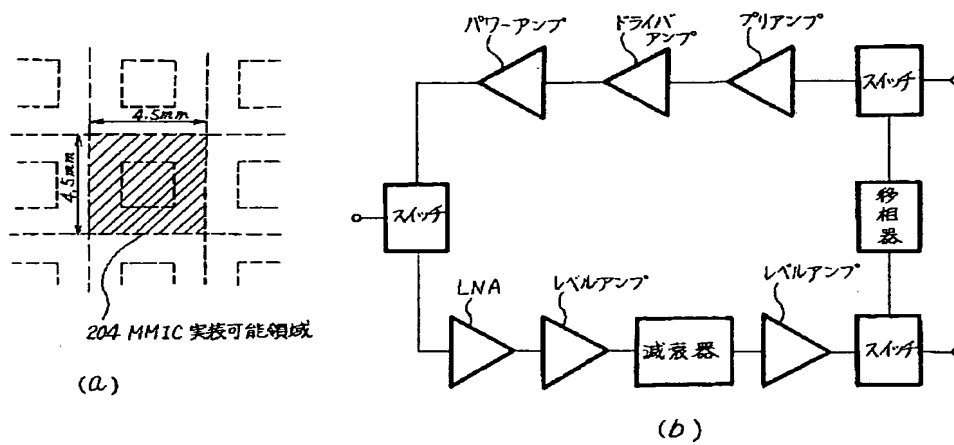
【図 6】



【図 7】



【図 9】



【図11】

